

СЕКЦИЯ 1. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ И ЭКОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.318.2

А. П. Авдеев, В. И. Матюхин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВА КС-25

Аннотация

Выплавка сплавов Sm-Co-Fe-Cu-Zr производится на основе фазовой диаграммы состояния Sm-Co. Рассматривается диапазон содержания кобальта от 60 до 80 вес. %. В этом диапазоне из расплава при температуре 1335 °C по перитектической реакции формируется фаза Sm₂Co₁₇. Первичные кристаллы этой фазы реагируют с жидкостью с образованием фазы SmCo₅. Фазы Sm₂Co₁₇ и SmCo₅ являются основополагающими в производстве сплавов КС-25 для магнитов.

Ключевые слова: магнит, индукционная печь, сплав, редкая земля, структура.

Abstract

Sm-Co-Fe-Cu-Zr alloys are smelted on the basis of SmCo phase diagram. The range of cobalt content from 60 to 80 weight is considered. %. In this range, the sm₂co₁₇ phase is formed from the melt at a temperature of 1335 °C by peritectic reaction. The primary crystals of this phase react with the liquid to form the SmCo₅ phase. The Sm₂Co₁₇ and SmCo₅ Phases are fundamental in the production of KS-25 alloys for magnets.

Key words: magnet, induction furnace, alloy, rare earth, structure.

Для наблюдения микроструктуры сплавов были выплавлены два слитка с различным химическим составом. Эти сплавы отличаются содержанием железа в 1 вес. %. Шихтовый состав слитков приведен в таблице 1, химический анализ сплавов показан в таблице 2.

Таблица 1

Шихтовый состав слитков, вес. %

Сплав	Sm	Co	Fe	Cu	Zr
№1	25,5	46,3	19,5	5,5	3,2
№2	25,5	45,3	20,5	5,5	3,2

Таблица 2

Химический анализ литых сплавов, вес. %

Сплав	Sm	Co	Fe	Cu	Zr
№1 (литой)	24,7	47,7	19,0	5,6	2,9
№2 (литой)	25,0	46,8	19,9	5,3	2,8

Наблюдение микроструктуры сплавов проводилось на сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA3, оборудованного микроанализатором X-Max^N. Образцы для наблюдения представляли собой прямоугольные призмы

с размерами 5x5x7 мм. На стороне 5x7 мм был приготовлен шлиф. Полученные на электронном микроскопе изображения показаны на рисунке 1.

После первой съемки микроструктуры все шлифы травили 2 % раствором нитала для того, чтобы выявить неоднородности структуры, поэтому будем рассматривать фотографии *Б* и *Г* на рисунке 1.

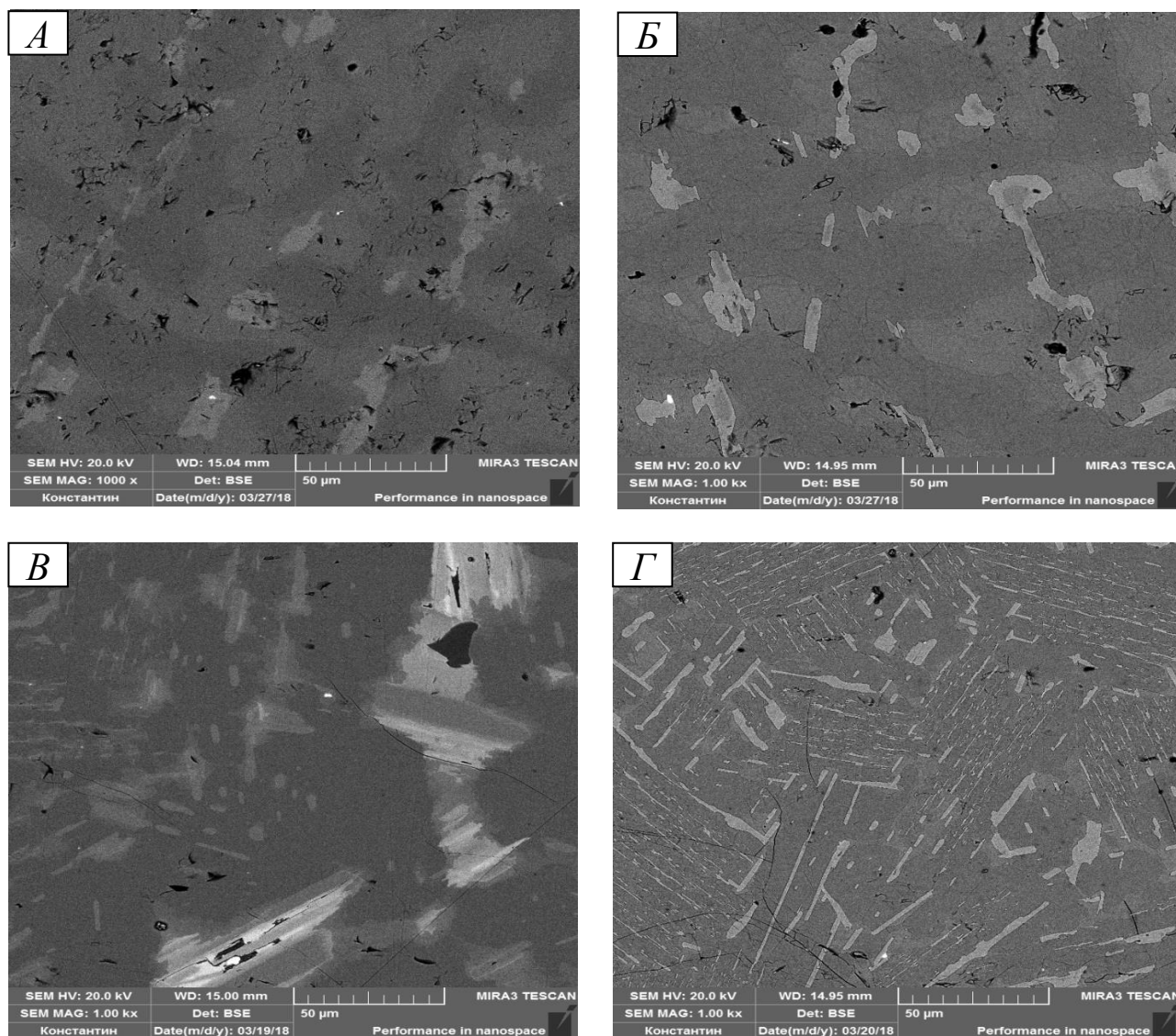


Рис. 1. Микроструктура литых слитков №1 (*А* – нетравленный, *Б* – травленный) и №2 (*В* – нетравленный, *Г* – травленный)

На рис. 1, *Б* мы наблюдаем неоднородность фазового состава исходных сплавов. Основная фаза матрицы представлена двумя фазами: темно-серая – это фаза, обедненная Sm (содержание Sm – 23 вес. %) и светло-серая – фаза, обогащенная Sm (содержание Sm – 25 вес. %). Так же наблюдается вкрапления другой фазы. Микроанализ показал, что эта фаза обогащена Fe и Zr. По-видимому, тугоплавкие элементы Fe и Zr кристаллизуются при охлаждении сплава и увеличивают неоднородность фазового состава.

Сплав, изображенный на рис. 1, *Г*, имеет большее содержание Fe по сравнению со сплавом на рис. 1, *Б*. Это приводит к тому, что светло-серой фазы,

обогащенной Sm, на рис. 1, Γ меньше, но больше включений Fe-Zr. Увеличение содержания Fe привело к ухудшению однородности литого сплава.

Известным способом выравнивание однородности состава слитка по объему является гомогенизация сплава.

Состав гомогенизированных сплавов №1 и №2 приведены в таблице 3.

Таблица 3

Химический анализ гомогенизированных сплавов, вес. %

Сплав	Sm	Co	Fe	Cu	Zr
№1 (гомог.)	24,2	47,6	19,2	5,2	3,5
№2 (гомог.)	25,2	46,0	19,0	6,0	3,5

Фотографии микроструктуры шлифов гомогенизированных слитков №1 и №2 представлены на рисунке 2.

Сравнивая рисунки 1, Б и 2, Б видно, что на рисунке 2, Б количество основной фазы темно-серого цвета возросло, а количество светло-серой фазы уменьшилось. Аналогичная ситуация наблюдается на рисунках 1, Г и 2, Г. Это означает, что гомогенизация привела к выравниванию состава сплава.

Стоит отметить, что фаза железо-цирконий по-прежнему присутствует в обоих сплавах, однако размер включений этой фазы уменьшился. Можно сделать вывод, что проведение гомогенизации сплава не позволяет избавиться от включений фазы Fe-Zr. Увеличение количества Fe в исходном сплаве приводит к тому, что избыточное железо связывает часть циркония в сплаве и при охлаждении образуются тугоплавкие фазы Fe-Zr.

Полученные магнитные свойства магнитов из всех сплавов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Магнитные свойства магнитов из сплавов №1 и №2

Сплав	Br, кГс	bHс, кЭ	jHс, кЭ	(BH)max, МГсЭ
№1 (литой)	11,5	10,0	18,0	28,8
№1 (гомог.)	11,4	9,6	23,0	26,8
№2 (литой)	11,5	9,4	18,1	28,1
№2 (гомог.)	11,5	8,0	17,0	24,4

В заключение можно отметить следующее:

- гомогенизация положительно влияет на микроструктуру, происходит выравнивание сплава по составу, фазовый состав становится более однородным;
- свойства магнитов из гомогенизированного сплава стали ниже, чем до гомогенизации.

Существует несколько причин снижения магнитных свойств.

- после гомогенизации изменился химический состав сплавов – произошло перераспределения содержания элементов Sm, Zr;

– возможно, для гомогенизированных сплавов требуются другие режимы термообработки.

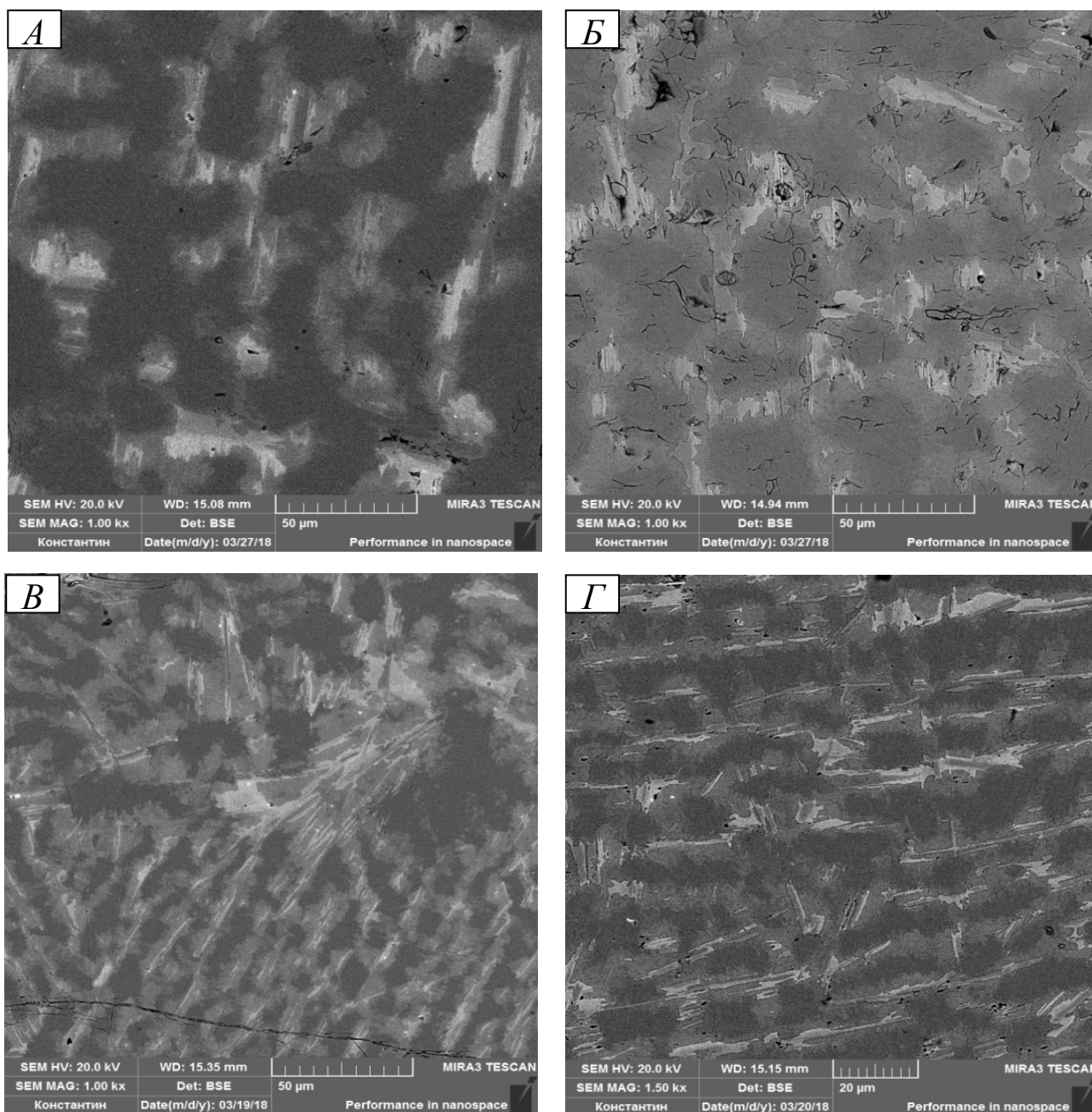


Рис. 2. Микроструктура гомогенизированных слитков №1 (А – нетравленный, Б – травленный) и №2 (В – нетравленный, Г – травленный)

Список использованных источников

1 Магнетизм редкоземельных металлов и их интерметаллических соединений: учеб. пособие / Н.В. Кудреватых, А.С. Волегов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 198 с.

2 Постоянные магниты: справочник / А.Б. Альтман, А.Н. Герберг, П.А. Гладышев [и др.]; под ред. Ю.М. Пятина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. Энергия, 1980. – 488 с.

3 Конструирование и расчет индукционных плавильных печей: учебное пособие / С.В. Карелов, В.И. Матюхин, О.В. Матюхин, Б.А. Сокунов, Л.С. Грובה; под ред. С.Н. Гущина. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 165 с.

УДК 621.318.2

А. П. Авдеев, В. И. Матюхин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕПЛАВКИ ПОРОШКА СПЛАВА ND-FE-B

Аннотация

В современном мире вопрос переработки вторичного сырья является актуальным по ряду причин – это стоимость чистых материалов и их ограниченное количество на российском рынке, а также проблема с утилизацией отходов в мире.

На производстве магнитов. После измельчения сплава из-за особенности конструкции мельницы в камере остается порошок. Масса остатка равняется составляет 25 % от начальной загрузки. В соответствии с технологическим процессом остаток порошка не может использоваться для производства магнитов, так как он состоит из более крупных частиц, чем требуется. Потери порошка, составляющие 25 % от сплава, являются существенными для данного производства. В связи с этим разработка технологии переработки вторичного сырья очень востребована.

Ключевые слова: магнит, индукционная печь, сплав, редкая земля, структура.

Abstract

In today's world, the issue of recycling is relevant for a number of reasons – the cost of clean materials and their limited number on the Russian market, as well as the problem with the disposal of waste in the world.

In the production of magnets. After grinding the alloy, due to the design features of the mill, the powder remains in the chamber. The weight of the remainder is equal to 25 % of the initial load. According to the technological process, the powder residue can not be used to produce magnets, as it consists of larger particles than required. Powder losses of 25 % of the alloy are significant for this production. In this regard, the development of technology for processing of secondary raw materials is very popular.

Key words: magnet, induction furnace, alloy, rare earth, structure.

Для того, чтобы переплавить порошок, его требуется спрессовать. Оптимальным способом прессования большого количества порошка является метод прессования в гидростатическом прессе. Этот метод не требует изготовления дорогостоящих пресс-форм и оснастки из металла, а использует резиновые матрицы, которые просты в изготовлении.

В силу того, что порошок для выплавки собирается с нескольких режимов струйного измельчения, этот порошок неоднородный по химическому составу,